

中国大气逆辐射的气候计算及其分布特征

翁笃鸣

(南京气象学院)

陈媛*

(湖南省气象局)

摘要 本文根据1979年5—8月季风试验(MONEX)期间印度8个辐射探空站资料,以及同期青藏高原气象科学实验和1982年8月至1983年7月青藏高原辐射观测资料,详细地讨论并提出了大气逆辐射的气候计算式。该式具有物理意义清晰、拟合精度较高及普适性较好的优点。首次计算了全国218站的大气逆辐射,并就其在全国的地理分布及其随纬度、海拔高度季节变化进行了分析,得到一些有意义的结果。

关键词 中国,大气逆辐射,气候计算

大气逆辐射是地表辐射平衡的重要分量。长期以来,由于仪器条件的限制,实测的大气逆辐射资料很少。在气候研究中,通常都把大气逆辐射与有效辐射气候计算方法研究联系在一起。在国外著名的Ångström、Brunt、Берлянд公式⁽¹⁾以及Monteith⁽²⁾、Swinbank⁽³⁾等所提出的有效辐射计算式和各种辐射图解方法都包含了大气逆辐射的计算。在国内,周允华⁽⁴⁾曾根据青藏高原气象科学实验资料提出比较完整的大气逆辐射计算式。我们^(5,6)在讨论全国有效辐射气候计算时也曾有所涉及。但总的说,已有的研究还是很不够的,直至目前专门讨论大气逆辐射气候计算方法的工作基本上还未有过。

本文试图利用作者之一已提出的适用于各等压面高度上晴天大气逆辐射的经验公式,再根据1979年5—8月以及1982年8月至1983年7月的青藏高原辐射观测资料,拟合出普适性较好的大气逆辐射气候计算式,以初步解决我国大气逆辐射的气候计算问题。

1 大气逆辐射的气候计算方法

1.1 大气逆辐射气候计算式的建立

大气逆辐射的气候计算式通常可表示为

• 本文系国家气象局气象科学基金课题成果

· 收稿日期:1990-07-29

$$G_n = G_0 f(n) \quad (1)$$

的形式。这里 G_n 、 G_0 分别表示有云和无云条件下的大气逆辐射； $f(n)$ 为总云量 n 的经验函数，我们曾根据 1979 年 5—8 月季风试验期间印度 8 个站* 的辐射探空资料，提出一种适合于各等压面高度的晴空大气向下辐射公式**

$$G_0^* = \sigma T^* [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)] \quad (2)$$

其中 G_0^* 为各等压面高度的大气向下辐射； T 、 e 相应为各层的气温和水汽压。该式不仅物理意义比较清晰，拟合精度较高，而且形式简单，还满足 e 等于零时的边界条件。该式以较高的精度适用于地面大气逆辐射的计算。据 1979 年 5—8 月青藏高原气象科学实验 6 个地面热源站资料检验，对晴空大气逆辐射的计算误差仅 4.0%。因此，本文将以上式为基础，进一步讨论实际云天条件下的大气逆辐射计算问题。

关于云量函数 $f(n)$ 的形式，我们在分析青藏高原气象科学实验资料时，曾提出简单的抛物线形式

$$f(n) = 1 + cn^2 \quad (3)$$

并证实有较好的拟合效果。式中 c 为经验系数，其稳定性将影响该函数的普适程度和使用价值。因此，采用下式

$$G_n = \sigma T^* [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)] (1 + cn^2) \quad (4)$$

作为大气逆辐射气候计算式可能是合适的。但需指出，式中右边第一部分表示晴空条件下的大气逆辐射，理应按晴空条件下的气温和水汽压进行计算。实际上无法做到这一点，只能按与各种云天条件相对应的同时刻(段)气温和水汽压计算。它们间的反馈影响将由系数 c 体现出来。

我们随机选取了青藏高原上拉萨等 8 个站季(包括冬、夏季)0—10 云量等级下的 1760 个样本观测资料(每个站季为 220 次，即每一云量等级 20 次)，采用步长加速法拟合出 c 值为 0.145，其平均相对拟合误差为 2.7%，误差的相对方差为 1.7%。表 1 即为(4)式的拟合误差分布情况。

最终可得出大气逆辐射的计算式为

$$G_n = \sigma T^* [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)] (1 + 0.145n^2) \quad (5)$$

由于检验是针对瞬时值和平均值进行的，所以本式也是大气逆辐射的气候计算式。

* Srinagar(34°05'N, 74°50'E), New Delhi(28°35'N, 77°12'E)
Jodhpur(26°18'N, 73°01'E), Calcutta(22°39'N, 88°27'E)
Nagpur(21°06'N, 79°03'E), Bhubaneswar(20°15'N, 85°50'E)
Poona(18°32'N, 73°51'E), Trivandrum(08°30'N, 76°59'E)

** 孙治安, 翁笃鸣等, 一种适应于计算各等压面上大气向下辐射的经验公式(待发表)

表 1 (4)式的相对拟合误差分布(%)

云量 站名		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
冬季	拉萨	3.1	1.2	0.6	2.3	3.4	4.7	3.1	2.9	3.1	0.7	0.4
	甘孜	-2.0	-5.5	-5.1	-3.5	-3.5	-4.9	-4.4	-5.2	-4.1	-0.2	-5.4
	那曲	4.1	3.2	2.6	2.3	2.3	1.6	1.1	2.9	0.3	-1.9	-5.4
	改则	3.1	2.2	0.6	1.3	-0.7	-0.4	0.2	3.9	1.2	-4.5	-5.4
夏季	格尔木	0.0	-1.8	-2.4	-2.5	-2.5	-0.4	-2.5	-0.8	-1.6	2.5	0.4
	拉萨	3.1	1.1	-1.4	-1.7	3.4	1.6	1.2	3.9	5.1	5.4	6.0
	那曲	6.4	3.2	4.8	4.4	4.4	2.6	0.2	6.0	5.1	4.4	-2.1
	改则	1.0	2.2	1.6	0.3	1.3	3.6	-1.6	-0.1	-2.4	-1.9	-2.1

1.2 大气逆辐射气候计算式的检验

为了进一步验证(5)式的可靠性,我们作了两方面的工作。第一,随机抽取青藏高原拉萨、甘孜、那曲、改则4站和北京的长波辐射资料^[10]进行验证。它们是高原各站1982年8月至1983年7月各月15日和北京1983年4月5日至11月7日的逐次观测资料。发现无论在青藏高原或平原北京,(5)式的平均相对误差都非常接近,分别为6.7%和6.2%,误差的相对方差也很一致(4.6%和4.2%)。表2即为检验误差的分级统计结果。可以看

表 2 大气逆辐射相对误差的分级统计

地区	误差范围(%)	≤5.0	5.1—10.0	10.1—15.0	15.1—20.0	≥20.1	合计
高原	频数	203	177	74	20	6	480
	频率(%)	42.3	36.9	15.4	4.1	1.3	100.0
平原	频数	38	23	8	4	2	75
	频率(%)	50.7	30.7	10.6	5.3	2.7	100.0

出,从总数555次检验中,相对误差小于10%的达441次,占80%。由于参加检验的资料均未参加拟合统计,因此,检验结果比较客观。

考虑到(5)式中 $f(n)=1+0.145n^2$ 的建立主要是以青藏高原考察资料为基础的,对平原地区的适用性检验毕竟有限(仅北京一站),有必要进行第二项检验,即所谓闭合性检验。根据地表长波辐射交换公式,有

$$\delta G = \delta \sigma T_g^4 - F \quad (6)$$

这里 $\delta\sigma T_0^4$ 表示地表长波辐射, 其中 δ 为比辐射系数, 取 0.95; σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数; T_0 为地表温度; F 为地表有效辐射。如对上式各项进行独立计算, 即 G 按(5)式, F 按文献[6]方法, $\delta\sigma T_0^4$ 按实测地表温度资料计算, 其闭合程度可在一定程度上证明各分量各自计算的精确性。闭合性检验的相对误差可表示为

$$ER = \frac{\delta G - (\delta\sigma T_0^4 - F)}{\delta\sigma T_0^4 - F} \cdot 100\% \quad (7)$$

据此对全国 218 站进行全面检验, 发现平均闭合误差为 8.3%, 看来这一结果是比较好的。因此, (5)式作为大气逆辐射的气候计算式是合适的。

2 大气逆辐射的地理分布

2.1 大气逆辐射的地理分布

我国的大气逆辐射分布因受地形和季风气候的影响, 具有比较明显的特点。冬季(1月)(图1), 在天文因素的决定性作用下, 全国大气逆辐射等值线走向的纬向特点非常明显, 并以在东部地区最为典型, 且等值线密集, 表现出由海南岛南端的 400Wm^{-2} , 降至黑龙江北部的 125Wm^{-2} 以下, 相差 275Wm^{-2} 。在四川盆地和塔里木盆地分别有一 300Wm^{-2} 和 200Wm^{-2} 的小高中心, 前者是由于四川盆地冬季湿润, 温暖且多云雾的缘故, 而后者则是盆地的海拔高度以及沙漠上方大气混浊等造成的。青藏高原为一广大的相对低值区, 其值在 175Wm^{-2} 以下, 较之同纬度的东部沿海地区明显偏低。高原东侧紧邻四川盆地, 地形高度变化急剧, 与此相对应的便是大气逆辐射等值线的密集。

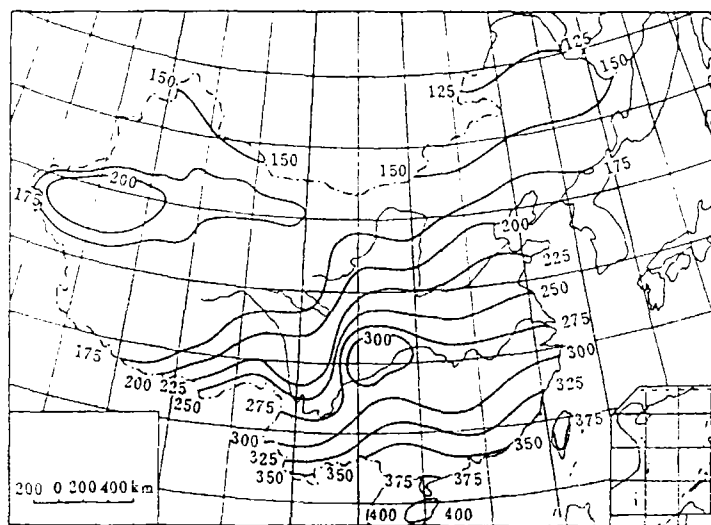


图1 1月全国大气逆辐射平均通量密度分布(Wm^{-2})

夏季(7月), 大气逆辐射的全国分布发生一些改变。这主要是与夏季风影响下的我国温度场分布相对应的。在东部地区, 等值线基本上呈东北—西南走向。整个长江中下游地

区及其两侧为一均匀场,平均大气逆辐射通量密度在 $475-500\text{Wm}^{-2}$ 之间。反映出副热带高压的强大影响。南北之间的大气逆辐射差为全国最小,仅 100Wm^{-2} 。在青藏高原主体部分为一 325Wm^{-2} 的低值区。雅鲁藏布江下游及滇西南地区由于受西南季风的影响,大气逆辐射值较大,塔里木盆地仍维持一小高中心,其值在 400Wm^{-2} 左右(图 2)。

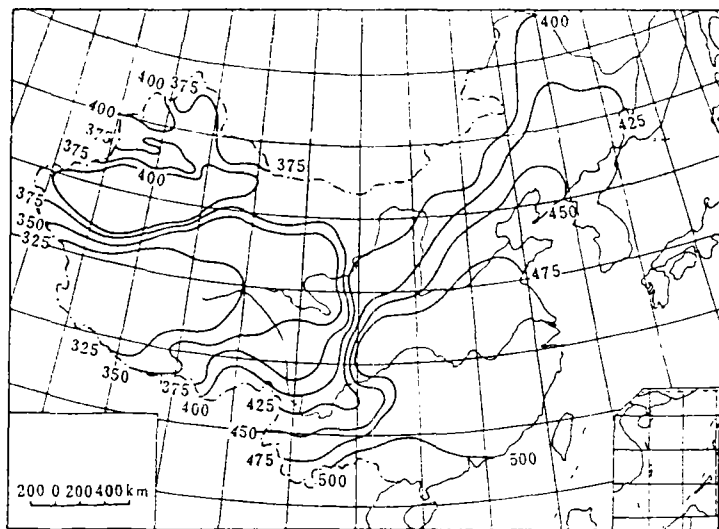


图 2 7 月全国大气逆辐射平均通量密度分布 (Wm^{-2})

春秋季节的大气逆辐射分布形势间于冬夏之间,较多地与冬季特别是年分布相一致。

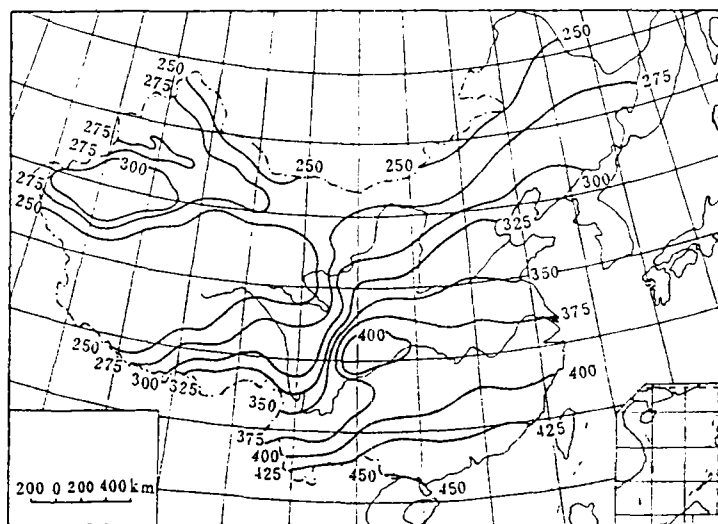


图 3 年平均大气逆辐射通量密度分布 (Wm^{-2})

在全年平均下,大气逆辐射分布形势全面地显示出各种因素的影响。在东部地区,等值线呈纬向分布,由华南的 450Wm^{-2} 降至东北的 250Wm^{-2} 。青藏高原为一广大低值区,

中心值在 250 W m^{-2} 以下。四川盆地和塔里木盆地则为小高中心(图 3)。

2.2 大气逆辐射随纬度和海拔高度的变化

图 1—3 清晰地反映出纬度对我国大气逆辐射分布的影响,其中尤以东部地区最为显著。为了进一步阐述这一特点,我们还绘制了我国 110°E 以东地区大气逆辐射随纬度变化的曲线(图 4)。图中大气逆辐射随纬度单调递减的特点表现得更为明确。对于不同季节,递减趋势有所不同。在冬季(1 月),曲线呈陡峭下降状,其中以 40°N 以南地区下降最快, 40°N 以北则稍趋平缓。这与冬季风控制下东部地区温度随纬度分布情况是完全一致的。夏季(7 月)曲线外形在某种意义上与冬季曲线呈反向对应。正是在 40°N 以南变化缓和,以北递减较明显。这一特点正好与夏季江淮及以南地区受副高控制以及华北、东北的雨季作用分不开的。年平均线基本上是条直线,从整体上表示出大气逆辐射的均匀变化。

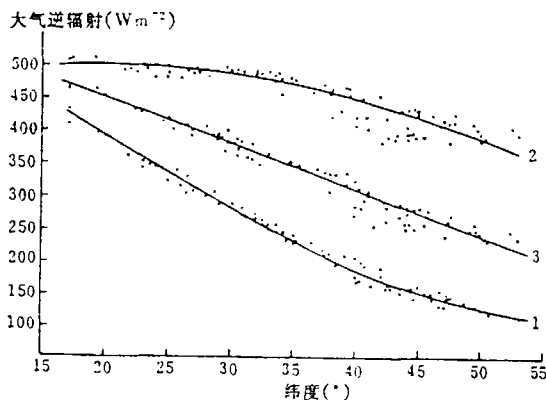


图 4 大气逆辐射平均通量密度随纬度变化(110°E 以东地区)

大气逆辐射随纬度变化规律在西部地区可因地形的决定性作用而被掩盖(图略)。所以讨论测点海拔高度对大气逆辐射的影响是必要的。我们在分析青藏高原和印度 8 个辐射探空站的大气逆辐射资料时,都曾得出晴天大气逆辐射随海拔高度单调递减的结论。其经验方程形式可写成

$$G_H = G_0 e^{-\alpha H}$$

这里 G_H 、 G_0 依次为海拔高度 H 及海平面处的大气逆辐射; α 为经验系数。在平均条件下由于山区各高度测点云量状况的差异,使得平均大气逆辐射随高度变化规律发生偏差。图 5 即为青藏高原及其东部邻近地区的实际大气逆辐射随海拔高度分布情况。总的看来,无论在冬季或夏季散布点基本上呈负指数状(或粗略直线状),与晴空大气逆辐射分布规律大体一致。散布点间的离散情况则反映出除海拔高度以外的其它因素的影响。云状况的

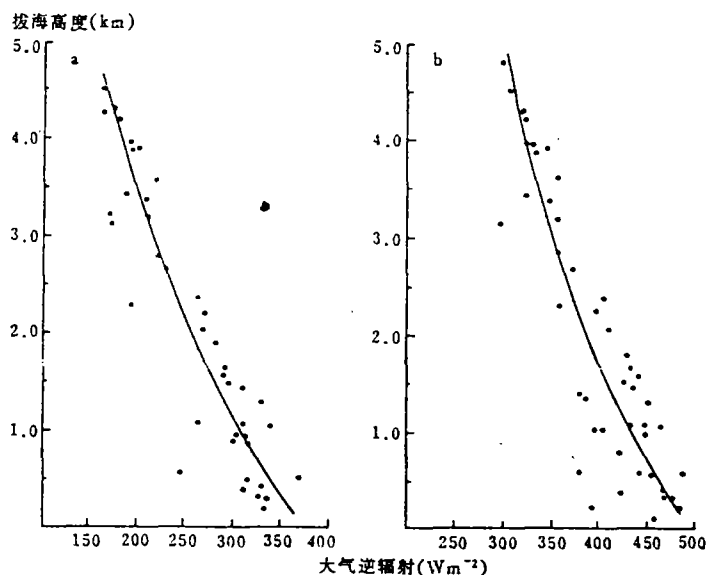


图5 大气逆辐射平均通量密度随测点海拔高度变化 a, 1月, b, 7月

差异可能是重要的因素之一。此外,各站纬度、地形、湿润状况的差异都将表现出来。但是,海拔高度的主导作用则是非常清楚的。

2.3 大气逆辐射的年变化

大气逆辐射的年变化形势比较简单明了,全国各地绝大多数站点的年变曲线都呈单峰型,最大值和最小值分别在7月和1月出现(图略)。这与各地气温和水汽压的年变特点是相互对应的。

各地大气逆辐射年较差也比较有规律(表3)。不论在我国东部或西部地区,年较差都有随纬度递减的特点,而东部地区各站点的年较差又比西部的大,这主要应是海拔高度的差异所造成的。

表3 各地大气逆辐射年较差(Wm^{-2})

地区	东部地区				西部地区			
站点	广州	上海	北京	哈尔滨	昆明	拉萨	成都	银川
纬度 N	23.1°	31.2°	39.8°	45.7°	25.0°	29.7°	30.7°	38.5°
年较差	151.5	215.0	263.3	281.5	143.0	168.9	176.1	230.1

3 结 语

由上分析,可以得出以下几点认识:

a. 大气逆辐射的气候计算式

$$G_{\text{a}} = \sigma T^4 [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)] (1 + 0.145 n^2)$$

具有结构简单,物理意义清晰,计算精度较高的特点。该式已考虑同一时刻(段)总云量对气温和水汽压的反馈作用,可满足气候研究需要。

b. 我国大气逆辐射的分布主要由纬度、海拔高度以及各地气候条件所决定。在 110°E 以东地区,大气逆辐射分布的纬向特点比较明显,且以冬季最突出。在西部地区则体现出海拔高度的主导作用。

c. 单独分析大气逆辐射随纬度变化可清晰地揭示出其随纬度单调递减的特点。在不同季节,其递减速度也不相同。大气逆辐射随海拔高度变化曲线形式,大致具有负指数特点。

d. 全国各地大气逆辐射年变化形式除少数站点外均较单一,呈单峰型。最大值在 7 月出现,1 月为最小月。大气逆辐射年较差均有随纬度递减的特点。

参 考 文 献

- 1 么枕生. 气候学原理. 北京: 科学出版社, 1959, 55—56
- 2 Monteith J L. *Quart J Roy Met Soc*, 1961, 87(372), 171—179
- 3 Swinbank W C. *Quart J Roy Met Soc*, 1964, 90(386), 488—493
- 4 周允华. 地理学报, 1984, 39(2), 148—161
- 5 孙治安, 翁笃鸣. 南京气象学院学报, 1986, 3, 228—238
- 6 孙治安, 翁笃鸣. 南京气象学院学报, 1986, 4, 335—347
- 7 Кондратьев К Я. *Актинометрия*, Л: Гидрометеоиздат, 1965, 521
- 8 陆淦苍, 高国栋等. 南京大学学报, 1976, 2, 89—108
- 9 翁笃鸣, 冯燕华. 科学通报, 1984, 29(13), 796—799
- 10 中国科学院地理研究所编辑. 中国地理基础数据, 野外定位试验卷(第二集), 北京: 科学出版社, 1989

CLIMATOLOGICAL CALCULATION OF DOWNWARD ATMOSPHERIC RADIATION FOR CHINA AND ITS CHARACTERISTIC DISTRIBUTION*

Weng Duming

(Nanjing Institute of Meteorology)

Chen Yuan

(Meteorological Bureau of Hunan Province)

Abstract By using the data from 8 Indian radiation — sounding stations during the MONEX of May—August 1979 and the radiation measurements during the QXPMECH (the Qinghai—Xizang Plateau Meteorological Science Experiment) conducted during the said time and from August 1982 to July 1983, a useful expression for downward atmospheric radiation is presented through detailed discussions. The expression is marked by distinct physical implications, higher fitting accuracy and considerable universality. The regime of the downward atmospheric radiation is calculated for the first time for 218 stations in the meteorological network of China and investigation done of its geographic distribution and variation with latitudes, elevations and seasons, thus bringing about some interesting results.

Key words China, downward atmospheric radiation, climatological calculation.

* This work is sponsored by the SMA Meteorological Science Research Funds.